

APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO DE AGRUPAMIENTO DE ANTENAS PARA AUMENTAR EL MARGEN VISIBLE Y CANCELAR REFLEXIONES

Francisco José Cano⁽¹⁾, Lara Orgaz⁽¹⁾, Sara Burgos⁽¹⁾, Manuel Sierra-Castañer⁽¹⁾, José Luis Besada⁽¹⁾.

francisco@gr.ssr.upm.es, lara@gr.ssr.upm.es, m.sierra.castaner@gr.ssr.upm.es, besada@gr.ssr.upm.es.

⁽¹⁾ Grupo de Radiación, Dpto. de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones.
Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria. 28040. Madrid.

Abstract-A new method of array antenna diagnosis is proposed. The method uses far field information which it is possible to reconstruct the excitations of the elements and the field over the aperture of the array antennas, providing the module and the phase. A simple study of this module and this phase can detect errors, for example, errors in the alignment of the phase, connections or general structure of the array antennas. So, without a similar technique for antenna diagnosis, it would be necessary to check that elements, connections or structure. Therefore, when there are a lot of elements it would be a waste of time.

I. INTRODUCCIÓN

El estudio del diagrama de radiación de una antena permite en ciertos casos detectar errores en el conformado de la superficie de la antena o posibles errores en la alimentación de los elementos. Sin embargo, en la mayor de los casos, este análisis no va más allá de la mera comparación entre los diagramas de radiación real y teórico, no permitiendo la determinación de posibles causas de error ni su magnitud. Es por ello, que se recurre a técnicas de transformación para obtener las excitaciones de los elementos o una imagen de los campos en la apertura, de modo que la detección de errores sea directa.

Este trabajo se centra en el análisis y la implementación software de una de esas posibles transformaciones, así como su posterior incorporación a un conjunto más amplio de programas empleados en la cámara anecoica del Grupo de Radiación de la Universidad Politécnica de Madrid.

II. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE TRANSFORMACIÓN

Las técnicas de diagnóstico se basan en la estrecha relación que existe entre el campo radiado y la distribución de campo o corriente en la antena. Esta relación no es posible sin un importante intermediario como es el espectro de ondas planas, el cual se obtiene a partir de las mediciones del campo radiado y a partir del cual somos capaces de obtener los campos en la apertura, o lo que es lo mismo, las excitaciones de los diferentes elementos de un array. Esta técnica aparece expuesta con más detalle en [1] - [3].

Para el caso de tener una apertura en el plano $z=0$, radiando en la dirección $z>0$, la relación que liga el campo eléctrico en campo lejano con cada una de las componentes del espectro de ondas planas es:

$$\begin{aligned} E\theta(r, \theta, \phi) &= k(\lambda, r) \cdot (P_x \cdot \cos(\phi) + P_y \cdot \sin(\phi)) \\ E\phi(r, \theta, \phi) &= k(\lambda, r) \cdot \cos(\theta) \cdot (P_x \cdot \sin(\phi) - P_y \cdot \cos(\phi)) \end{aligned} \quad (1)$$

Por lo tanto, como se observa de las anteriores expresiones, a partir de la medida del campo en un punto vamos a ser capaces de determinar las dos componentes del espectro de ondas planas en dicho punto, sin más que resolver un sistema de dos ecuaciones.

Una vez conocidas dichas componentes, la determinación del campo en la apertura es inmediata, haciendo para ello uso de las expresiones que las relacionan:

$$\begin{aligned} P_x(K_x, K_y) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_s x(x, y) \cdot e^{-j(K_x x + K_y y)} dx \\ P_y(K_x, K_y) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_s y(x, y) \cdot e^{-j(K_x x + K_y y)} dy \end{aligned} \quad (2)$$

En las ecuaciones anteriores (1) y (2) puede observarse la relación directa entre las medidas de la antena en campo lejano y la distribución de campos en la apertura.

Además queda puesto de manifiesto en las expresiones (2) que el campo en la apertura podrá ser obtenido a partir de la transformada de Fourier del espectro de ondas planas. En resumidas cuentas, el procedimiento a seguir para la obtención de los campos en la apertura será:

- 1) Medida del campo radiado por la antena.
- 2) Obtención del espectro de ondas planas a partir de ese campo medido.
- 3) Aplicar la transformada de Fourier a dicho espectro de ondas planas para la consecución de los valores de los campos en la apertura de la antena bajo estudio.

Lo expuesto hasta ahora es aplicable para antenas de aperturas, donde lo que nos interesa conocer son los campos

sobre su superficie. Sin embargo si estamos trabajando con arrays de antenas, lo que nos interesará conocer serán las excitaciones reales de cada uno de sus elementos, y ver si se ajustan a las teóricas. En este caso, la determinación de dichas excitaciones pasa por la obtención del factor de array, a partir del cual podremos obtenerlas sin más que aplicar una transformada discreta de Fourier.

El procedimiento a seguir será en parte similar al seguido con las aperturas, pues mediremos el campo radiado por el array, y a partir de dichas medidas obtendremos el espectro de ondas planas, haciendo nuevamente uso de las ecuaciones (1).

Lo ciertamente novedoso viene a continuación, pues como se ha dicho hemos de determinar el factor de array para poder calcular las excitaciones. Pero la obtención de éste es inmediata, sabiendo que el campo que estamos midiendo es el campo que radiaría un elemento aislado multiplicado por el factor de array, lo cual nos lleva a la siguiente expresión:

$$P(kx, ky) = Pe(kx, ky) \cdot FA(kx, ky) \quad (3)$$

En (3), P es el espectro de ondas planas calculado, mientras que Pe es el espectro de ondas planas de un único elemento. Por lo tanto a partir de lo que ya tenemos determinado (espectro de ondas planas del array) y conociendo cual es el espectro de ondas planas de un elemento aislado, vamos a poder determinar el factor de array, y posteriormente aplicar una transformada discreta de Fourier para la obtención de las excitaciones.

Finalmente indicar que para la obtención de las excitaciones en las posiciones en las cuales se encuentran los elementos, hemos de conseguir los valores del factor de array en puntos concretos del plano (kx,ky), para que al realizar la transformada discreta de Fourier los valores que obtenemos se correspondan con las excitaciones (en definitiva el valor del campo) en los puntos donde se encuentran localizados los elementos.

Para la consecución de valores equiespaciados en el plano (x,y) del array, hemos de tener valores equiespaciados una cantidad concreta en el plano (kx,ky). Sin embargo, puede suceder que las medidas de campo realizadas no se tengan precisamente en esos puntos. Por ello será necesario realizar una interpolación con los valores próximos, y previamente a dicha interpolación llevar a cabo una expansión, esto es, a partir de los valores medidos obtener los valores en una mayor cantidad de puntos para conseguir una mayor precisión.

III. RECONSTRUCCIÓN DEL ESPECTRO A PARTIR DE LAS EXCITACIONES

Una vez que se han obtenido las excitaciones mediante la técnica de transformación descrita con anterioridad, ahora es posible hacer uso de dichas excitaciones para retornar nuevamente al espectro. Para ello se aplicará la técnica inversa, es decir, una transformada inversa de Fourier. De esta manera, eliminando adecuadamente las excitaciones que son nulas y que hemos obtenido fuera de la apertura, obtenemos un nuevo diagrama de radiación, el cual puede ser utilizado para completar la zona no visible, si tenemos efecto de enventanado o incluso para eliminar del espectro obtenido

el efecto perjudicial de posibles reflexiones en la cámara de medida.

IV. INTEGRACIÓN EN EL SOFTWARE DE MEDIDA

Esta técnica se ha integrado dentro del software PROCENCA para medida automatizada de antenas en cámara anecoica, diseñado por el departamento de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones de la Universidad Politécnica de Madrid.

PROCENCA es un entorno de programación basado en Visual Basic 6.0® funcionando sobre Windows. Permite definir los parámetros necesarios para la realización de cualquier tipo de adquisición de datos sobre una antena bajo prueba, además de su posterior procesado y representación de resultados.

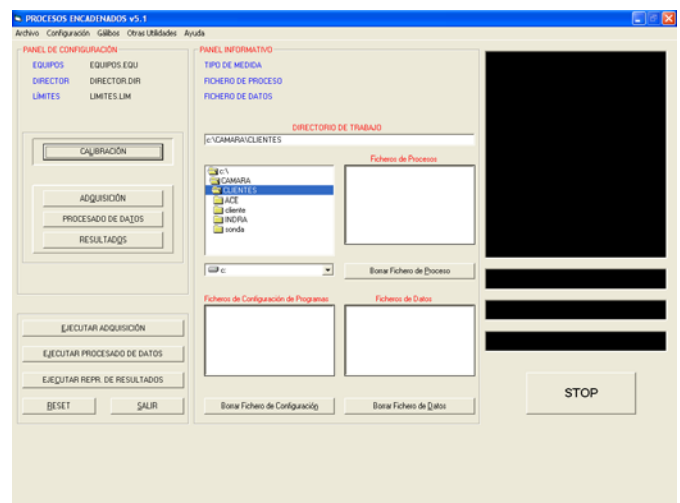


Fig. 1. Ventana principal de PROCENCA

Se ha integrado en el software PROCENCA bajo el nombre “Reconstrucción de Fuentes” debido a que su principal aplicación será la de aprovecharse de estas técnicas de diagnóstico de agrupamiento de antenas para obtener la distribución de campo o corriente que existe en la antena a partir del campo radiado; es decir, a partir de una adquisición de campo radiado por una antena bajo prueba realizada en cámara anecoica, y su posterior procesado aplicando dichas técnicas, conocer y representar las fuentes que generaron el campo captado.

El proceso es el siguiente, a partir de un fichero binario de adquisición de campo radiado, que actuará como parámetro de entrada, el usuario tendrá que seleccionar diferentes opciones para configurar en proceso de reconstrucción.

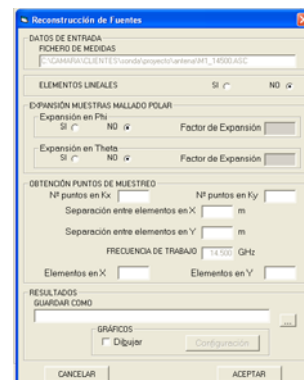


Fig. 2. Ventana para Reconstrucción de Fuentes en PROCENCA

El usuario podrá seleccionar la ruta donde quiera guardar el fichero de Reconstrucción de Fuentes, que contendrá los distintos valores de campo o corriente que circulan por la antena y que generaron el campo adquirido.

V. RESULTADOS

En este apartado se van a presentar los resultados de aplicar el método de diagnóstico expuesto a un array con alguno de sus elementos defectuoso. Para ello simularemos el diagrama de radiación de dicho array, el cual nos va a servir para determinar las excitaciones de sus elementos, viendo si las que obtenemos se corresponden con las teóricas.

El array considerado tiene 10x10 elementos e iluminación uniforme con los siguientes errores:

- El elemento (4,2) radia a -1dB y con un error de fase de 45°.
- El elemento (4,6) radia a -3 dB y con un error de fase de 10°.

Otra de los puntos que hemos de tener en cuenta es que los resultados que vamos a obtener van a depender de la relación que exista entre la separación de elementos y la longitud de onda. Analizaremos dos casos donde se pondrá de manifiesto la limitación de la técnica empleada.

En la primera de las simulaciones la separación entre elementos será de 0,7l. Dado que únicamente tenemos errores en los elementos de la fila 4, prescindiremos de las demás. En la Fig. 3 se presentan respectivamente la amplitud (en dB) y la fase (en grados) que obtenemos para los elementos de la fila 4, comparándolos con los valores teóricos con los que habíamos realizado la simulación del diagrama.

Fila 4				
Elemento	Amplitud Teórica	Amplitud Obtenida	Fase Teórica	Fase Obtenida
1	0	0,02	0	0,33
2	-1	-1,25	45	45,91
3	0	-0,18	0	0,34
4	0	-0,26	0	-0,57
5	0	-0,10	0	0,11
6	-3	-3,3	10	9,54
7	0	-0,13	0	0,13
8	0	-0,05	0	-0,46
9	0	-0,07	0	0,21
10	0	-0,19	0	-0,23

Fig. 3. Valores teóricos y obtenidos con la técnica empleada para la fila 4 del array con una separación entre elementos de 0,7l.

La siguiente de las simulaciones la realizaremos para un menor valor de frecuencias, o lo que es lo mismo, una mayor longitud de onda. Esto hace que la separación entre elementos constituya un menor porcentaje de dicha longitud de onda. Concretamente utilizaremos una separación entre elementos igual a 0,517l. Nuevamente en este caso volvemos a presentar los resultados de la fila 4 en la que se encuentran los errores, y la forma de hacerlo es mediante las tablas mostradas en la Fig 4

Fila 4				
Elemento	Amplitud Teórica	Amplitud Obtenida	Fase Teórica	Fase Obtenida
1	0	-0,07	0	4,69
2	-1	-0,91	45	37,09
3	0	-0,58	0	5,01
4	0	0,61	0	-2,05
5	0	-0,41	0	1,68
6	-3	-2,48	10	7,92
7	0	-0,24	0	1,25
8	0	-0,07	0	-0,69
9	0	-0,22	0	0,46
10	0	0,23	0	-0,20

Fig. 4. Valores teóricos y obtenidos con la técnica empleada para la fila 4 del array con una separación entre elementos de 0,517l.

Los diferentes resultados obtenidos son comparados con los teóricos haciendo uso de las técnicas de comparación que se recomiendan en [4].

Como se puede observar en los resultados, a medida que la separación entre elementos constituye un menor porcentaje de la longitud de onda empleada, los valores obtenidos se desvían más de los teóricos. Ello se puede ver con mayor claridad en la Fig. 5, donde se representa la amplitud de los elementos de la fila 4 del array para cada una de las dos simulaciones realizadas así como los verdaderos valores que tendría que tomar en cada uno de los elementos.

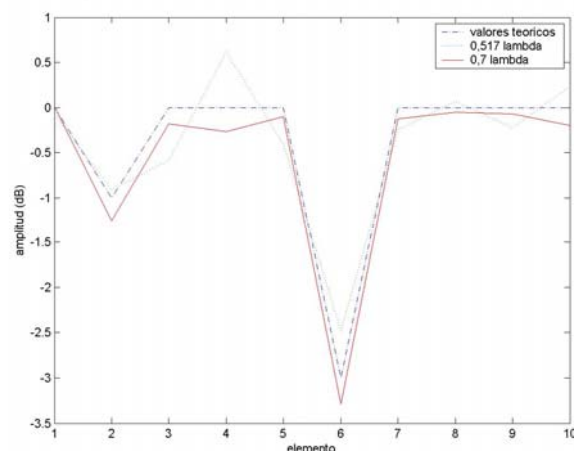


Fig. 5. Representación de las amplitudes teóricas de los elementos de la fila 4 y las obtenidas para separación entre elementos de 0,7 l y 0,517 l.

El motivo de que los resultados obtenidos presenten una mayor desviación respecto a los teóricos cuanto menor es la frecuencia (para una separación de elementos dada), se debe al enventanado que sufre el espectro de ondas planas, pudiendo ocurrir que se requieran puntos fuera de la zona válida del espectro. El efecto de dicho enventanado se traduce en un rizado de los valores de las excitaciones obtenidos, tal y como se observa en la Fig. 5. En la Fig. 6 se observa el enventanado del espectro de ondas planas enunciado para el caso de 0,517l.

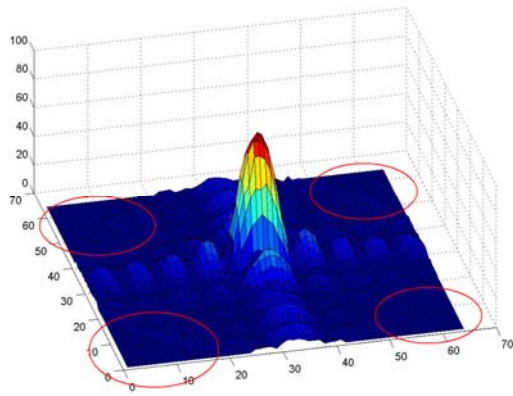


Fig. 6. Efecto de enventanado en el espectro de ondas planas

Como se expuso con anterioridad, es posible hacer uso de un método de mejora que nos complete esas zonas no visibles, y de esta forma, aplicando un proceso iterativo conseguir valores de las excitaciones que se aproximan más a los reales. Ello lo podemos ver en el siguiente ejemplo, donde se ha tomado un array de 1x5 elementos, todos iluminados con la misma amplitud y con una separación entre ellos de 0,517 l. En la Fig. 7 se presentan los valores de la amplitud obtenidos para las excitaciones empleando el método básico y haciendo uso de la técnica de mejora, viendo como efectivamente, los resultados conseguidos con este último son mucho más satisfactorios.

Elemento	Amplitud teórica	Amplitud con el método básico	Amplitud con el método de mejora
1	1	0,9042	0,9978
2	1	1,0498	1,0006
3	1	0,9761	0,9990
4	1	1,0491	0,9995
5	1	0,9064	1,0005

Fig. 7. Representación de las amplitudes teóricas y las obtenidas para una separación entre 0,517 l con el método básico y el mejorado.

Como se ha dicho el método de mejora permite la reconstrucción del espectro en la zona no visible, ello se puede observar en la Fig. 8, donde se muestra el extremo de un corte con $\phi=45^\circ$.

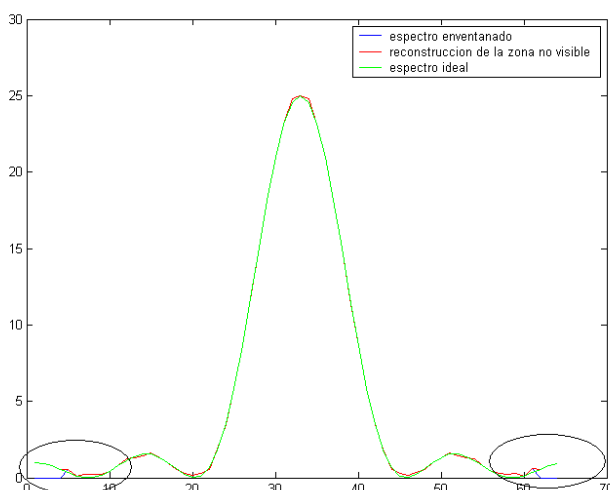


Fig. 8. Efecto de enventanado y corrección con el método de mejora

Por lo que respecta a la cancelación de ecos, lo vemos en la Fig. 9, donde se presenta el diagrama de radiación con ecos y una vez cancelados:

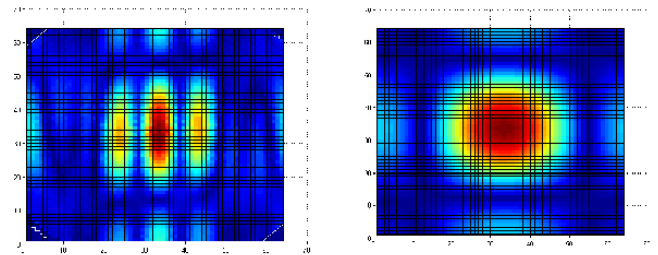


Fig. 9. Cancelación del efecto de los ecos en el diagrama de radiación

VI. CONCLUSIONES

La técnica de Fourier empleada para el diagnóstico, constituye un procedimiento rápido y lo suficientemente preciso para determinar las excitaciones de elementos. Y a partir de dichas excitaciones ver de forma inmediata posibles errores. Sin embargo existen un conjunto de factores que empeoran la precisión en la estimación de las excitaciones, como es la limitación del espectro disponible en la medida de la antena o la directividad del elemento o de la sonda de medida que hacen que el factor de array que estamos utilizando no sea el correcto al multiplicarlo por sus respectivos diagramas de radiación. Por ello se opta también por un proceso de mejora en el cual se completan esas partes del espectro no visibles. Algunas de las técnicas que pueden ser empleadas aparecen recogidas en [1] y [5].

REFERENCES

- [1] C. Rivas Saiz, J.L. Besada Sanmartín, "Técnicas de diagnósticos de antenas", Depto. De Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones, ETSI. de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid, España.
- [2] S. Blanch, L. Jofre, "Diagnóstico de Agrupamiento de Antenas", URSI VIII Symposium Nacional, Valencia Septiembre 1993, pp 700-703.
- [3] M. Johansson, B. Svensson, "Array Antenna Diagnosis and Calibration", AMTA 1990, p 10.27-10.31.
- [4] S. Pivnenko, J.E. Pallensen, O. Breinbjerg, M. Sierra, P. Caballero, J.L. Besada, J. Romeo, S. Blanch, C. Sabatier, "Comparison of Antenna Measurement Facilities with the DTU-ESA 12 GHz Validation Standard within the EU Antenna Centre of Excellence", IEEE transactions on antennas and propagation, VOL. VV, NO. NN, month 2006.
- [5] C. Cappellin, O. Breinbjerg, A. Frandsen, "Antenna diagnostics for spherical near-field antenna measurements", DTU, Technical University of Denmark.